

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 19 日現在

機関番号：13903

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2014

課題番号：24740248

研究課題名(和文) 高圧下角度分解ド・ハース・ファン・アルフェン効果による電子状態と量子相転移の研究

研究課題名(英文) The study of electronic state and quantum transition via angle resolved de Haas van Alphen effect under high pressure

研究代表者

松本 裕司 (Yuji, Matsumoto)

名古屋工業大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：00610304

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：表面インピーダンス測定の室温動作に成功した。現在圧力セル及び低温における測定に取り組んでいる。

また、アクチノイド金属間化合物では5つ、希土類金属間化合物では14個の新物質合成に成功した。URhIn5に関しては、98Kで反強磁性秩序すること、及び反強磁性秩序でフェルミ面がほとんど消失することを明らかにした。現在それらの新物質の純良化及び電子物性を明らかにしているところである。

研究成果の概要(英文)：We have prepared surface impedance at room temperature. Now, we are preparing the measurement under high pressure and low temperature.

We have synthesized 5th new actinide intermetallic compounds and 14th rare earth intermetallic compounds.

研究分野：強相関電子系

キーワード：アクチノイド 希土類 高圧 電子状態 物質合成

### 1. 研究開始当初の背景

希土類やアクチノイドで見られる重い電子系は、フェルミエネルギー近傍に大きな状態密度を持つため、そのエントロピーを何らかの形で解放しようとする。その独特な電子状態が、重い電子状態、異方的超伝導や隠れた秩序など、他の物質系では見られない多様な基底状態を実現に一役買っている。重い電子系、鉄系超伝導体、さらに高温超伝導体など、異常金属と呼ばれる物質はいずれも同様な状況下であり、それぞれの基底状態でどのような電子状態であるのか実験的に確立する事が、その機構の解明に必須である。

ド・ハース・ファン・アルフェン(dHvA)効果測定は、電子状態を決定するのに最も強力な実験手段である。試料を回転させて、それぞれの方位でdHvA効果を測定することで、金属の顔とも呼ばれるフェルミ面の精密な3次元的な形状を得ることができる。圧力は系の基底状態を制御し、特異な物性を発現させるための、非常に有力なパラメータである。これまで圧力下での電子状態の観測はdHvA効果測定でしか成功していないが、高圧下での測定は、大きな圧力セルを回転できない、小さな試料を用いるため測定感度が悪いなどの致命的な問題が生じ、それが圧力下でのフェルミ面全貌の決定を阻んで来た。

### 2. 研究の目的

希土類やアクチノイドで見られる重い電子系では、圧力を加えると容易に基底状態に変化する。特に、磁気秩序が消失する量子相転移近傍で、異常金属状態、非従来型超伝導状態などの特異な状態が出現する。本研究では、これらの発現機構を明らかにするため、表面インピーダンス法を用いた高圧下角度分解ド・ハース・ファン・アルフェン(dHvA)効果測定法を開発して、高圧下において電子状態を実験で観測する方法を確立する。その後、高圧下角度分解dHvA効果測定により、高圧下で量子相転移を起こす反強磁性体 CeRhIn<sub>5</sub> と、遍歴強磁性体 UGe<sub>2</sub> の高圧下の電子状態を観測することで、量子相転移と電子状態との関係を明らかにする。さらに、115系化合物を中心として量子臨界点近傍の物質探索を行い、新たな新奇物性の発見及び強相関電子系の電子状態の統一的理解を目指す。

### 3. 研究の方法

まずは、CeRhIn<sub>5</sub> 及び UGe<sub>2</sub> の純良な単結晶を育成する。次に、表面インピーダンス法を用いた高圧下角度分解ド・ハース・ファン・アルフェン(dHvA)効果測定法を開発して、高圧下において電子状態を実験で観測する方法を確立する。さらに、115系化合物を中心として量子臨界点近傍の物質探索を行い、新たな新奇物性の発見を目指す。

### 4. 研究成果

CeRhIn<sub>5</sub> を In フラックス法を用いた大型かつ純良な結晶育成条件の確立に成功した。さらに引き上げ法を用いた UGe<sub>2</sub> の引き上げ条件の最適化を行い純良単結晶育成に成功した。

周波数カウンター及びファンクションジェネレーターを購入し、表面インピーダンス測定ができるように組み上げた。現在は低温動作を確認中で、圧力下でも測定できるように改良中である。

新物質 URhIn<sub>5</sub> の単結晶の育成に成功した。URhIn<sub>5</sub> は反強磁性転移温度が 98K で、反強磁性秩序によりフェルミ面の大部分が消失すること、伝搬ベクトルが(0.5, 0.5, 0.5)の可能性が高いことが明らかになった。

ThRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の単結晶育成を行い dHvA 効果測定を行った。その結果、ThRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> のフェルミ面は重い電子系物質 CeRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> とフェルミ面と非常に似通っていること、さらに URu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> のフェルミ面と全く似ていないことを明らかにした。そのことより、Ce 化合物の重い電子状態の電子状態は Ce が 4 価のフェルミ面と似通っているが強相関の効果により形状が変化することが解った。

重い電子系物質 YbPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 及び YbNi<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の単結晶育成に初めて成功した。YbPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は基底状態が常磁性の重い電子状態であること、YbNi<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> は基底状態が反強磁性体で転移温度が 1.5K であることが解った。

### 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計16件)

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、酒井宏典、松田達磨、山本悦嗣、Zachary Fisk、Single-crystal growth and physical properties of URhIn<sub>5</sub>, Physical Review B、査読有、88 巻、2013、045120  
DOI: 10.1103/PhysRevB.88.045120

酒井宏典、神戸振作、徳永陽、松本裕司、立岩尚之、芳賀芳範、Zachary Fisk、Zero-field NMR and NQR measurements of the antiferromagnet URhIn<sub>5</sub>, Physical Review B、査読有、88 巻、2013、045123  
DOI: 10.1103/PhysRevB.88.045123

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、青木晴善、木村憲彰、松田達磨、山本悦嗣、Zachary Fisk、山上浩志、Single-crystal growth and de Haas van Alphen effect of ThRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>, JPS Conf. Proc、査読有、3 巻、2014、011096

DOI: 10.7566/JPSCP.3.011096

松本裕司、半谷和樹、芳賀芳範、Zachary Fisk、大原 繁 男、Journal of Physics Conference Series、Single-crystal growth and physical properties of YbPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>、592、012022、doi:10.1088/1742-6596/592/1/012022

芳賀芳範、松本裕司、立岩尚之、木村憲彰、山本悦嗣、Zachary Fisk、Journal of Physics Conference Series、Enhancement of the cyclotron effective mass in U<sub>0.03</sub>Th<sub>0.97</sub>Ru<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>、012036、doi:10.1088/1742-6596/592/1/012036

太田和希、二宮博樹、松本裕司、大原繁男、Journal of Physics Conference Series、High Quality Single-crystal Growth and de Haas-van Alphen Measurements of YbAl<sub>2</sub>、3 巻、011047 dx.doi.org/10.7566/JPSCP.3.011047

〔学会発表〕(計 5 7 件)

松本裕司、Single crystal growth and Physical properties of new Uranium 1-1-5 compound URhIn<sub>5</sub>、The IMR-ASRC 3rd REIMEI International Workshop、2013 年 2 月

松本裕司、Kondo effect in cerium lattice system: view point from quantum oscillation study on CeRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>、Ce<sub>x</sub>La<sub>1-x</sub>Ru<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> and ThRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub>、The International conference on strongly correlated electron systems、2013 年 8 月

松本裕司、半谷和樹、大原繁男、正方晶 YbPd<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> 及び YbNi<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の磁性、日本物理学会 2015 年春季大会、2015 年 3 月

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、山本悦嗣、Zachary Fisk、UT<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> (T:遷移金属) の物質探索と電子状態、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、山本悦嗣、木村憲彰、青木晴善、Zachary Fisk、ウラン金属間化合物の磁性不純物状態の電子状態—量子振動現象を用いた U<sub>x</sub>Th<sub>1-x</sub>Ru<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の研究、日本物理学会 2014 年秋季大会、2014 年 9 月

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、山本悦嗣、Zachary Fisk、UPtIn 及び UTC<sub>2</sub> (T=遷移金属) の結晶育成と物性、2014 年日本物理学会春季大会、2014 年 3 月

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、山本悦嗣、木村憲彰、青木晴善、Zachary Fisk、ThRu<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> の de Haas-van Alphen 効果測定

によるフェルミ面の研究 2013 年日本物理学会秋季大会、2013 年 9 月

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、山本悦嗣、Zachary Fisk、ウラン化合物の新物質探索と物性、2013 年日本物理学会春季大会、2013 年

松本裕司、芳賀芳範、立岩尚之、山本悦嗣、Zachary Fisk、UT<sub>2</sub>Al<sub>20</sub> (T=Ti, Cr, Mo, W) の物性と電子状態、2012 年日本物理学会春季大会、2012 年

松本裕司、半谷和樹、大原繁男、Single crystal growth and physical properties of YbT<sub>2</sub>Si<sub>2</sub> (T=Pd, Ni) The International conference on strongly correlated electron systems、2014 年 7 月

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕  
出願状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
国内外の別：

取得状況 (計 0 件)

名称：  
発明者：  
権利者：  
種類：  
番号：  
出願年月日：  
取得年月日：  
国内外の別：

〔その他〕  
ホームページ等

[http://researcher.nitech.ac.jp/html/100000305\\_ja.html](http://researcher.nitech.ac.jp/html/100000305_ja.html)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

松本 裕司 (Matsumoto, Yuji)  
名古屋工業大学・大学院工学研究科・助教  
研究者番号： 00610304

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3)連携研究者  
( )

研究者番号：